

附件 2

《寒冷地区渠道冻害评价导则》

(征求意见稿 送审稿 报批稿)

编制说明

主编单位： 南京水利科学研究院

年 月 日

编制说明

一、工作简况

1.1 任务来源

2019年4月，中国水利学会根据《中国水利学会标准管理办法》（试行）相关规定，经过立项论证，公示后以《关于批准<寒冷地区渠道安全监测技术规程>等2项标准立项的通知》（水学[2019]77号），批准该标准立项。

本标准的编制单位为南京水利科学研究院 新疆水利水电科学研究院 西北农林科技大学 新疆额尔齐斯河流域开发工程建设管理局 黑龙江省水利科学研究院 中水东北勘测设计有限责任公司等。

1.2 任务背景

寒冷地区的渠道大都位于冻土地基上方，渠道结构物因厚度小、自重轻而对地基土冻融作用十分敏感。根据我国水利行业大量统计数据及研究资料，地基土冻融作用产生的破坏是北方寒冷地区渠系工程主要破坏形式。在负温作用下，无论是渠基土的冻胀还是融沉，渠道衬砌如果不能适应这种变形，就会产生结构破坏，并进一步造成渠水的长期入渗，加速渠道的劣化损毁。据不完全统计，因冻害造成的渠道损坏占比达40%以上，严重影响了区域工农业生产发展和人民群众的用水安全。

渠道的冻害程度受渠基土的土性、含水率、含盐类及含量、水的盐碱度、渠道地基土的压实性、衬砌结构形式、防渗等级等诸多因素影响。针对冻害影响因素开展渠道冻害防治工作时，除对寒冷地区渠道进行必要的巡视检查、安全监测、损毁修复外，还应关注某一渠道断面发生冻害的可能性，以及未来冻害发展的可能趋势。随着相关学科的发展和认知问题的深入，工程界内已形成了多种针对寒区工程冻害问题的评价技术，所采用的方法包括模糊评价、运筹分析、人工神经网络等；一些学者也利用设计、监测资料，通过有限元方法等给出工程的安全预测。然而，当前用于寒冷地区渠道的相关评价方法仍相对较少；一些方法只是针

对某一具体工程，缺乏普适性；一些方法涉及的参数众多、公式繁杂，实际可操作性不强。

我国北方寒冷地区的大型渠道多为水资源配置工程，这些工程线路长，沿线气候地质条件各异，因此不同断面发生冻害的程度不同，针对冻害所采取的冻害处治措施也不同。开展渠道冻害评价，根据某一渠道断面工程特征进行冻害安全分级，进而分段施策，有利于管理部门优化资源、提升冻害处治效率。目前，我国水利行业标准 SL 23 给出了寒区渠道设计的基本要求，以及渠基的冻胀性划分。然而，相关要求和分级仅是用于渠道设计阶段，尚没有针对运行阶段的寒冷地区渠道冻害评价方法标准。

综上，对寒冷地区渠道冻害进行安全评价，有利于工程运行的长治久安。围绕科学性和实用性，针对输水安全保障需求，形成规范化的寒冷地区渠道冻害评价方法，是适应新时期水利改革发展总基调要求，提升工程科学管理水平的具体体现，也是相关学科、技术发展的客观需要。

1.3 主要工作过程

1.3.1 组建标准编制组

南京水利科学研究所作为标准编制实施机构，于 2019 年初组建了由岩土工程研究所、大坝安全与管理研究所的行业专家及一线人员组成的标准编制组，制定了标准编制工作方案，开展标准编制工作。

1.3.2 文献和资料收集

标准编制组收集整理了渠道安全监测工作相关的国家或行业标准，如《建筑地基基础设计规范》(GB 50007-2011)、《土的工程分类标准》(GB/T 50145-2007)、《冻土工程地质勘察规范》(GB 50324-2014)、《渠系工程抗冻胀设计规范》(SL 23-2006)、《水工建筑物抗冰冻设计规范》(GB/T 50662-2011)、《土工试验规程》(SL237-1999)、《衬砌与防渗渠道工程技术管理规程》(SL 599-2013)、《水利水电工程安全监测设计规范》(SL 725-2016)等相关标准和资料。标准编制组按照标准编制依据和原则，对上述资料进行了认真分析、学习和研讨，初步理顺了标

准编制的方向和思路。同时，标准编制组对《水闸安全评价导则》(SL214-2015)、《水库大坝安全评价导则》(SL258-2017)等2项水利工程安全评价行业标准及《渡槽安全评价导则》T/CHES 22-2018团体标准进行了详细研读，对本标准的制定方向和定位进行了把握。

1.3.3 调研及标准编制

(1) 调研

标准编制组通过行业协会等平台，召集相关科研院所、工程管理部门和生产单位进行座谈，与从事寒冷地区渠道工程建设管理工作的专家进行交流，了解国内相关监测工作的开展情况，总结其成功经验，分析项目实施中存在的问题。同时，标准编制组还赴中国水利水电科学研究院宁夏大学、哈尔滨工业大学、内蒙古工业大学、新疆农业大学等从事寒冷地区渠道科研技术工作的相关科研院所、企事业单位、高校进行了调研，了解各单位开展寒冷地区渠道冻害评价项目的有关情况，获取了工作经验，总结了存在的问题。

通过调研，标准编制组系统梳理了寒冷地区渠道冻害评价项目实施的主要内容，分析了评价工作实施中各环节的主要目的、内容及要求，基本理清了本标准的编制思路。渠道冻害安全评价的基本流程包括，现状调查、资料复核、安全评价、综合安全评价等。其中涉及的安全评价方法是本标准的核心内容。

(2) 科研

安全评价方法包含两个层面，一是根据渠道产生冻害的主要影响因素确定冻害指标；二是采用特定的方法就冻害指标给出渠道冻害程度的最终评价描述。而指标体系是公认的安全风险率数值，是根据多年经验积累并被承认的指标。在具体的工程现场，受各种条件的限制，输水渠道的类型多样，如混凝土衬砌渠道、砌石衬砌渠道、沥青混凝土渠道、膜料防渗渠道等。处于寒冷地区的输水灌渠，受渠基土自身性质、温度条件、水分条件、渠道走向、上覆荷载压力等因素的影响，当气温降低到一定程度时渠基土将发生盐胀和冻胀变形，一些渠道还存在因低温而产生的盐胀问题。此外，当因渠道防渗破坏或者地下水埋深较浅时，在外界水分补给下渠基土中的水分向冻结封面的迁移形成分凝冻胀，更加剧了渠基土的冻

胀，从而引起输水渠道的破坏。

在建立安全评价方法前，必须明确渠道冻害安全评价指标体系。为此，编制组多次深入寒冷地区渠道工程一线，包括北疆供水一期工程、XSDY 工程等，依托相关工程开展了大量室内实验和现场试验；此外，对我国北方寒区渠道冻害资料及有关单位的研究、工作成果进行了收集归纳。综合试验结果、渠道冻害资料，及已有研究成果，基本确立了寒冷地区渠道冻害评价的指标体系。

上述资料的分析 and 深入研究，为《寒区输水渠道冻害安全评价技术规程》团体标准的编制指明了方向。

（3）形成标准初稿

通过调研、科研，标准编制组对收集到的相关信息、资料进行了详细的分析、研讨和总结，同时借鉴和参考了国内外水利工程的安全评价标准，结合寒冷地区渠道工程特点，围绕科学性和实用性要求，建立了寒区输水渠道冻害安全评价方法。在此基础上，参照 SL 1—2014《水利技术标准编写规定》的规则，编写了《寒区输水渠道冻害安全评价技术规程》标准初稿。

（4）形成征求意见稿

《高寒区输水渠道安全监测技术规程》经过了多次专家咨询、内部研讨和修改。其间 2019 年 3 月 22 日，中国水利学会组织召开《寒区输水渠道冻害安全评价技术规程》团体标准立项论证会，通过了项目立项。咨询研讨的主要修改意见有：

- （a）建议对标准名称和适用范围进行修改。
- （b）建议完善部分术语。
- （c）标准名称改为《寒冷地区渠道冻害评价导则》；
- （d）标准内容在评价方法选择上要注意可操作性，增加渠道衬砌结构及土石接合部等受冻害的影响内容；
- （e）评价分类宜粗不宜细。

标准编制组按照专家意见对《寒冷地区渠道冻害评价导则》团体标准草稿进行了修改和调整。期间组织召开了征求意见稿编写研讨会 2 次，对草稿存在的问题进行了梳理，主要包括：

(a) 立项专家建议增加渠道“衬砌结构”“土石结合部”等受冻害的影响内容。目前已在细粒含量、压实度、含水率、盐渍度、温度、地下水埋深等指标基础上，增加了“衬砌结构”评价指标，并给出了具体赋分细则。然而，“土石结合部”是个较为抽象的概念，若根据立项专家意见将其新增为评价指标，将以哪个参数作为赋分依据，需要进一步探讨。

(b) 新增“衬砌结构”、“土石结合部”作为评价指标以后，各项指标权重都进行了调整，但目前的方案人为主观因素较强。建议组织有关单位专家，以函评形式对权重指标设置提出科学合理的分配方案。

(c) 将标准适用范围由“已建或待建输水明渠”改为“已建输水明渠”。理由一是若已建或待建渠道都能评价，各指标的参数涉及设计参数、施工参数、运行参数等，规定起来比较杂；二是待建渠道冻害评价意义不大，比如设计阶段的冻害评价，设计院不会根据我们的冻害评价而重新修改设计方案。

(d) 规范导则中的相关文字表述、图、表等。

在此基础上，通过函评、会评等方式吸纳了各方专家的意见，进一步完善了《寒冷地区渠道安全监测技术规程》草稿，形成征求意见稿。

1.4 主要起草人及其所做的工作

1.4.1 起草单位

本标准起草工作由南京水利科学研究院牵头负责。

本标准起草单位：南京水利科学研究院、新疆水利水电科学研究院、西北农林科技大学、新疆额尔齐斯河流域开发工程建设管理局、黑龙江省水利科学研究院、中水东北勘测设计有限责任公司。

1.4.2 任务分配介绍

水利部作为主管单位负责制定标准的管理与协调工作。

南京水利科学研究院作为标准起草的主编单位，负责标准起草、会议召集以

及编制单位之间的沟通交流。

新疆水利水电科学研究院、西北农林科技大学负责相关试验研究结果分析工作；新疆额尔齐斯河流域开发工程建设管理局、黑龙江省水利科学研究院、中水东北勘测设计有限责任公司等单位负责各工序数据分析整理工作，参与草稿的讨论及技术支持等。

二、主要内容及来源依据

2.1. 主要内容

本标准共包括 6 章，分别为：1 总则。本规程适用于 2 级及以上，位于我国寒冷地区承担供水、调水、灌溉、发电等任务的输水明渠冻害评价工作；规范性引用文件。2 术语和定义。对本规程涉及的专业术语进行了说明和定义。3 现状调查。对开展寒冷地区渠道冻害评价所需的调查资料，以及渠道工程建设运行的档案资料提出了具体要求，对评价工作的主要内容进行了规定。4 评价方法。主要评价体系设置、评价方法、评价工作要求等等。5 指标评价。主要包括渠道冻害影响因素评价、指标权重分配等。6 渠道冻害综合评价，主要包括目标评价、渠道冻害综合评价等。

2.2 来源依据

术语和定义主要依据《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2011）、《冻土地地区建筑地基基础设计规范》（JGJ118-2011）《冻土工程地质勘察规范》（GB50324-2014）、《水工建筑物抗冰冻设计规范》（GB/T 50662-2011）；现状调查主要参考《水利水电安全监测设计规范》（SL725-2016）、《水闸安全评价导则》（SL214-2015）、《堤防工程安全评价导则》（SL/Z 679-2015）、《渠道防渗工程技术规范》（GB/T 50600-2010）、《衬砌与防渗渠道工程技术管理规程》（SL599-2013）；指标评价、渠道冻害综合评价主要依据《土的工程分类标准》（GB/T50145-2007）、《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2011）、《渠系工程抗冻胀设计规范》（SL23-2006）等标准或相关规定。

2.3 主要试验、验证及试行结果

渠道冻害评价是以实际工程作为对象，围绕引起冻害的主要影响因素，根据工程设计和运行阶段的相关具体参数，对整个渠道结构在冻害作用下的安全等级进行定量划分、评价，一种判断工程工作性状的有效方法。

按照科学性和实用性要求，采用何种方法进行冻害评价是关键，而冻害评价指标体系是冻害评价方法的核心内容。近年来，项目牵头单位依托国家重点研发计划“高寒区长距离供水工程能力提升与安全保障技术”、水利部公益性行业科研专项“咸寒区渠道冻害评估与处治技术”、水利部技术示范项目“咸寒区供水渠道冻害评估处治技术应用与推广”等国家、行业重大专项项目，以寒区工程理论为指导，围绕渠道运行安全问题，综合运用土工测试技术、数值模拟技术等开展了大量寒区渠道冻害安全预报与处治研究，形成了包括渠道冻害过程离心模拟技术、含盐渠基土的冻胀特性、膨胀性渠基土的三维裂隙发育特征、渠道冻害劣化致灾“水-热-力”耦合力学模型，渠道冻害预警预报技术，渠道冻害快速修复技术等在内的渠道冻害综合评估与处治技术。综合标准编制调研及专题科研工作成果，建立了寒冷地区渠道冻害评价指标体系。以“很弱”、“弱”、“较强”、“强”、“很强”等五个影响描述将具体指标按照标准值划分为五个级别。具体如下：

(1) 细粒含量。以土中的颗粒粒径小于 0.075mm 的颗粒（小于 0.075mm 粒径的颗粒属于粉粒和粘粒）含量为区分土体冻胀特性的因素。我们将细粒含量小于 5% 的土体划定为“很弱”的级别，之后细粒含量每增加 5% 级别降低一级。随着细粒含量的增加，相同条件下土体的冻胀特性明显增强，本次指标划分中，以细粒含量 15% 作为界定基本安全与危险的临界细粒含量，因此细粒含量 10%~15% 划分为“较强”的级别。由于细粒含量大于 50% 的细粒土被认为有较大的冻胀性，故定义细粒含量大于 50% 为“很强”的级别。

(2) 压实度。研究表明，土体冻胀率随着干密度的增大先增大后减小。通过调研、试验等，设定“很强”级别对应的渠基土压实度为小于 0.92，“强”的级别对应的渠基土压实度为 0.92~0.94，“较强”级别对应的渠基土压实度为 0.94~

0.96, “弱”的级别对应的压实度为 0.96~0.99, “很弱”级别对应的渠基土压实度为大于 0.99(鉴于施工过程中土体的压实度可能大于本次轻型击实试验的最大干密度, 因此具体工程压实度大于 1 也认为是很安全的级别)。

(3) 水分。土体中的液态水是土体冻胀的内在因素。对于任意一种特性的土体, 当其含水率超过起始冻胀含水率后, 土中液态水结冰体积膨胀才能产生土体冻胀。本标准建议按照“冻胀等级”对含水率指标进行描述, “冻胀等级”中的“Ⅰ不冻胀”对应描述为“很弱”, 以此类推。

(4) 盐渍度。近年来, 项目牵头单位开展了一些关于含盐量对地基土冻胀作用的影响研究。研究了以硫酸钠为代表的渠基盐渍土的冻胀变形特性。试验结果表明, 随着 Na_2SO_4 含量的升高, 土体的冻胀率急剧增大, Na_2SO_4 含量越高, 土体冻胀变形越大。以干密度为 $1.89\text{g}/\text{cm}^3$ 的土体为例, Na_2SO_4 含量为 0.2% 时, 土体冻胀率为 0.829%, 当 Na_2SO_4 含量升高至 4.4%, 冻胀率急剧增大至 4.223%。另一方面, 随着 Na_2SO_4 含量水平的升高, 在其他条件相同的情况下, 单位 Na_2SO_4 含量升高引起的冻胀变形增长的速率也有所增大。按照 1.5m 的冻结深度换算, Na_2SO_4 含量为 0.2% 时土体的冻胀量大约为 1.5cm, 该冻胀量对应的地基土冻胀级别为 I 级冻胀; Na_2SO_4 含量为 4.4% 时土体的冻胀量大约为 7.5cm, 该冻胀量对应的地基土冻胀级别为 III 级, 冻胀。因此结合先前关于含盐土体冻胀变形室内试验的结果, 建议设定以 SO_4^{2-} 离子为代表, 含量 0.2% 为区别很安全级别与基本安全级别的临界盐渍度值, 0.5% 为区别较安全级别和基本安全级别的盐渍度, 1.0% 为区分基本安全级别与危险级别的盐渍度, 大于 1.5% 为高度危险级别的盐渍度。盐渍度的指标标准值设定为: 含量 0.2% 为区别“很弱”级别与“弱”级别的临界盐渍度值, 0.5% 为区别“弱”级别和“较强”级别的盐渍度, 1.0% 为区分“较强”级别与“强”级别, 大于 1.5% 为“很强”级别。

(5) 衬砌结构。本项目以 SL23 中表 4.2.2 规定的渠道衬砌允许最大法向位移值为依据, 按照衬砌结构标准组合的最大允许法向位移值越大, 分级越高的原则确定衬砌结构标准组合的评价等级。例如, 梯形断面、混凝土衬砌的衬砌结

构，SL23 中规定的最大允许法向位移值为 0.5~1.0 cm，该允许值在所有衬砌结构中最低，说明该种衬砌结构抵抗冻胀的能力最弱，因此评定为 V 级；分离挡墙式矩形断面（底板）、沥青混凝土衬砌的衬砌结构，最大允许法向位移值为 7~8 cm，该允许值在所有衬砌结构中最高，衬砌结构抵抗冻胀能力较强，因此评定为 I 级。其他级别以此类推。

（6）环境温度。温度是导致渠道渠基产生冻害的直接原因。我国北方寒冷地区幅员辽阔，水工建筑物产生冻害的条件和过程不同，起始冻结温度也有差异。因此，在综合各方专家意见的基础上，提出采用“标准冻深”作为反映环境温度影响的指标，参照 GB50007、JGJ 118 中“标准冻深”的定义确定本标准中温度的指标标准值。“标准冻深”的概念是温度大小和作用时间的综合表征。全国范围内标准冻深绝大多数都在 250 cm 以内，因此，本规范以 50 cm 为一个等级进行级别划分。

建立指标体系后，必须明确各指标的有关权重，所采用的权重应客观，尽可能反映各指标对渠道冻害的影响程度水平。围绕指标权重分配的合理性要求，标准编制组采用“层次分析法”，组织组内专家就指标权重的具体分值进行了专家打分，同时邀请了中科院西北院、新疆农业大学、宁夏大学、哈尔滨工业大学、中国水科院等国内从事寒区水利工程相关工作的 20 余名专家共同参与了专家打分工作。在此基础上，综合考虑反映各专家的职称、职务、打分“一致性”情况的专家各人权重因子，形成了寒冷地区渠道冻害评价指标体系的权重赋分。综合评价指标体系及指标权重赋分，形成了寒冷地区渠道冻害评价方法。

本项目参与单位，范围涉及科研院所、高校、工程管理部门等多个单位，这些单位长期以来，从水库及灌区建筑物防渗抗冻胀破坏机理及材料、结构与施工等方面进行了系统研究，主持完成了我国大量高寒地区工程科研、建设项目，涉及寒区水利、公路、铁路、输油管道等工程，取得了良好的效果，在寒区工程监测工作方面积累了大量实践经验。

本标准的编写，旨在规范寒冷地区渠道工程冻害评价方法，为相关部门的管

理工作提供科学依据。同时，鼓励社会团体广泛参与，促进相关技术、产业持续发展。目前，相关技术已在北疆供水工程“一期二步”改造工程、“XSDY”工程等寒冷地区大型输水工程中得到应用，均取得了显著成效，发挥了非常好的示范带动作用。标准的编写，吸纳了示范应用过程中的成功经验，解决了项目实施中的存在的问题，对标准的验证、试行和推广具有重要意义。

三、专利情况说明

无。

四、与相关标准的关系分析

4.1. 与国际、国外同类标准水平的对比情况，或与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况。

无。

4.2. 与国内相关标准协调性分析。

本规程编写过程中，充分考虑了与国内相关标准的协调性问题，如指标体系中的细粒含量按照 SL23、GB/T50145 中对土的冻胀性分类，设置级别划分；含水率根据 GB50007 附录 G“地基土的冻胀性分类”，对不同土质按冻前天然含水率对场地冻胀类别进行了划分。衬砌结构按照 SL23 中的表 4.2.2，对不同断面形式和不同衬砌材料组合进行了级别划分。标准编写工作是在国内相关标准的基础上，力求严谨，适用，所述内容与国内相关标准保持协调。

五、重大分歧或重难点的处理经过和依据

无。

六、贯彻措施及预期效果

国家高度重视水工程安全运行与管理工作的。“十三五”期间，在新时期水利改革发展总基调要求下，水利工程“重建轻管”的状况逐渐扭转。“十四五”期间将是水利建设新一轮高潮期、水利发展方式深刻转型期，这为加快推行水利工

程运行管理提供了良好的机遇和挑战。为保障寒冷地区渠道建设管理工作的顺利开展，迫切需要规范寒冷地区渠道安全监测标准体系，抓紧编制相关标准，是“补短板”和“强监管”的总基调要求的具体体现，是治水管水工作实际的具体要求。根据寒区工程基本理论，结合寒冷地区渠道安全评价工作实践，加快《寒冷地区渠道冻害评价导则》团体标准编制进程，争取早日发布和实施，为相关工程的冻害处治、运行管理科学方法和技术支撑。

《寒冷地区渠道冻害评价导则》团体标准出版后，应加大对本标准的宣贯力度，使之准确、及时、完整的传达相关生产、建设、管理单位，让社会全面及时了解、认识和领悟标准内涵，并按照标准要求积极运用到具体工作中，逐步提高行业、社会的标准意识，使其发挥应有的作用。

七、其他说明事项

无。